СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД И УЧЕТ СТРУКТУРНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ИХ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Казаков Азиз Нигманович
PhD, заведующий кафедрой Маркшейдерского дела и геодезии, Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан,
E-mail: Azlik19@yandex.ru,
https://orcid.org/0000-0001-9862-6594;
Хакбердиев Музаффар Рустамкул угли
PhD, Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан,
E-mail: zafarzafar2066@gmail.com,
https://orcid.org/0000-0002-8386-4036;
Дилмуродов Жавохир Жасур угли
Студент, Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан,

Аннотация. В статье рассматривается методика построения структурной модели массива горных пород на основе лабораторных испытаний образцов на одноосное сжатие с учетом их минералогического состава, трещиноватости и степени вторичных изменений. Предложен подход к выделению структур первого и второго порядков, отражающих закономерности изменения прочностных характеристик пород в массиве. Введено понятие коэффициента структурного ослабления, позволяющего осуществить переход от прочности образца к прочности массива. Полученные результаты могут быть использованы при геометризации прочностных показателей пород и решении горно-технических задач в условиях рудных месторождений.

Ключевые слова: структурная модель, массив горных пород, прочностные характеристики, структурное ослабление, коэффициент структурного ослабления, трещиноватость, вторичные изменения, минералогический состав, геометризация прочности, горно-технические условия.

Abstract. The article considers a methodology for constructing a structural model of a rock mass based on laboratory tests of specimens under uniaxial compression, taking into account their mineralogical composition, degree of fracturing, and intensity of secondary alterations. An approach is proposed for identifying first- and second-order structures that reflect the patterns of variation in the strength characteristics of rocks within the mass. The concept of a structural weakening

ISSN 3030-3907

coefficient is introduced, which makes it possible to transition from specimen strength to rock mass strength. The obtained results can be used in the geometrization of rock strength parameters and in solving mining engineering problems under ore deposit conditions.

Keywords: structural model, rock mass, strength characteristics, structural weakening, structural weakening coefficient, fracturing, secondary alterations, mineralogical composition, strength geometrization, mining and engineering conditions.

Annotatsiya. Maqolada tog‘ jinslari massivining strukturaviy modelini qurish metodikasi namunalarning bir o‘qli siqilish bo‘yicha laboratoriya sinovlari asosida, ularning mineralogik tarkibi, yoriqlanganlik darajasi hamda ikkilamchi o‘zgarishlar darajasini hisobga olgan holda ko‘rib chiqiladi. Tog‘ jinslari massivida mustahkamlik xususiyatlarining o‘zgarish qonuniyatlarini aks ettiruvchi birinchi va ikkinchi tartibli strukturalarni ajratib ko‘rsatish yondashuvi taklif etilgan. Namuna mustahkamligidan massiv mustahkamligiga o‘tishni ta’minlovchi strukturaviy zaiflashuv koeffitsienti tushunchasi kiritilgan. Olingan natijalar tog‘ jinslarining mustahkamlik ko‘rsatkichlarini geometrizatsiya qilishda hamda rudali konlar sharoitida konchilik masalalarini hal etishda qo‘llanilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: strukturaviy model, tog‘ jinslari massivi, mustahkamlik xususiyatlari, strukturaviy zaiflashuv, strukturaviy zaiflashuv koeffitsiyenti, yoriqlanganlik, ikkilamchi o‘zgarishlar, mineralogik tarkib, mustahkamlikni geometrizatsiya qilish, kon-texnik sharoitlar.

ВВЕДЕНИЕ.

В условиях подземной разработки полезных ископаемых достоверная оценка прочностных характеристик массива горных пород является одной из ключевых задач горной геомеханики. Ошибки в определении прочности пород могут привести к снижению устойчивости горных выработок, увеличению аварийности и росту затрат на проведение горных работ.

Прочность массива горных пород формируется под воздействием комплекса факторов, включающих минералогический состав, степень дифференциации пород, развитие трещиноватости и процессы вторичных изменений. При этом значения прочности, полученные в лабораторных условиях на стандартных образцах, как правило, существенно отличаются от реальной прочности пород в массиве. Это обусловливает необходимость учета структурного фактора при оценке прочностных свойств горных пород.

Базируясь на изложенных выше основных признаках формирования пород прочности представляется возможным составить их структурную модель.

ISSN 3030-3907

По условиям проявления, характеру распределения и изменчивости минералогического состава пород, они могут быть подразделены по вертикальной колонке на ряд структур. Рассмотрим возможные порядки структур от более сложных к простим, применительно к породам одной петрографической разности, так как многие месторождения слагаются одной-тремя разностями руд и пород. Основная масса руды, например, на месторождениях Зармитанское золоторудных зоны представлена. Золотоносными кварцевыми жилами и сульфидными рудами. Отбор проб изготовления стандартных образцов и их испытания выполнены по известной методике [1].

Если породы дифференцированы, то первой, более общей, частью структуры являются дифференциаты, в пределах которых имеет место закономерный характер изменения минералогического состава в разрезе, обусловленный гравитационным осаждением и метасоматическими процессами.

В пределах дифференциатов соотношения минералов сохраняют закономерные изменения и тенденции, при возможном изменении мощности самих дифференциатов по площади месторождения.

В том случае, когда породы не дифференцированы, они могут быть подразделены в разрезе на структуры первого порядка по признаку вторичных изменений и особенности распределения трещин внутри каждой из них. Примером этому может служить месторождения Зармитан, которые удалось разграничить на две структуры первого порядка по степени проявления вторичных изменений. Обозначим структуры первого порядка - $\mathbf{S_I}$ (рис. 1). Для первых характерным признаком, по которому определялись структуры первого порядка, является соотношение содержания талька и рудных минералов $\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{P}}$. Выделено две структуры: для одной $\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{P}} > \mathbf{I}$, а для другой $\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{P}} \leq \mathbf{I}$. Эти отношения характеризуют степень интенсивности проявления вторичных изменений. Каждой структуре $\mathbf{S_I}$ соответствуют зависимости между содержанием руда содержащего минерала и средней прочностью (рис.1).

Для вторых признаком выделения структур второго порядка являлось соотношение содержания пироксенов и вторичных минералов $\frac{C_{пир}}{C_{втор}}$, которое отражает степень вторичных измененный породы. Данный показатель имеет хорошую связь с средним значением прочности в интервале.

ISSN 3030-3907

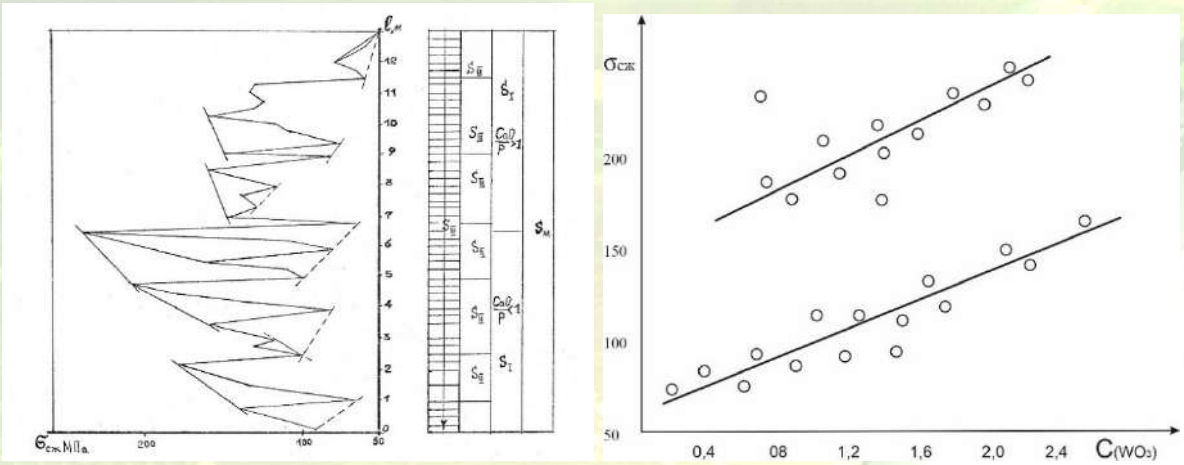


Рис. 1. Структурная модель пород рудного месторождения по данным испытанных образцов на сжатие и их минералогического состава (экспериментальная скважина)

Структуры первого порядка подразделяются на структуры второго порядка - S_{II}, которые характеризуются различной степенью вторичных изменений, связанных с проявлением инфильтрационного и диффузивного метасоматоза. Границы между структурами второго порядка обычно резкие, они разделяются пологими трещинами, которые играли роль фронта замещения при метасоматических процессах.

Особенность структуры второго порядка является различная степень ослабления породы вдоль плоскостей ослабления, залеченных продуктами метаморфизма. Это приводит к тому, что направления, которые могут быть скрытые, фактически представляют наибольшую опасность при разрушении пород. Ориентировка трещин в пределах структур второго порядка может сохраняться постоянной с незначительными отклонениями в пределах каждой из них.

Следует иметь в виду, что элементарные структурные блоки, связанные с проявлением вторичной трещиноватости, не всегда соответствуют элементарным структурный блокам, связанным с первичной трещиноватостью. Из структурной модели следует, что изменчивость показателя должна также различаться внутри S_I и S_{II}.

Таких областей или «слоев» в одном сечении породы может оказаться несколько. Причем переход от одной области (слоя) к другой может происходить резко, скачкообразно, аналогично скачку в распределении минералогического состава при инфильтрационном метасоматозе, происходящему на границе фронта замещения. Поскольку иногда представляется возможным связывать среднее значение показателя прочности с соответствующим ему среднему значению содержания полезного компоненту в породе (т.е. содержанием того или другого элемента)

ISSN 3030-3907

можно получить из графиков изменения содержания элементов, заимствованных из книги «Применение геохимических методов при металлогенических исследованиях рудных районов».

Соотношение прочности перечисленных типов разрушения характеризуется соответственно средними относительными величинами

$$\frac{\sigma_I}{\sigma_I} = 1{,}0; \qquad \frac{\sigma_{II}}{\sigma_I} = 0{,}6; \qquad \frac{\sigma_{III}}{\sigma_I} = 1{,}8\,. \qquad (1)$$

При натурных испытаниях в тех же условиях соотношение прочности по типам разрушения приблизительно остаётся таким же, как и при испытаниях образцов, среднее значение прочности зависит от ориентировки и части распределения соответствующих структурных элементов в породе.

На практике используют предельную прочность $\sigma_п$ породы в масштабе образца [2,4]. Для этого строится график зависимости между $\bar{\sigma}_{сж}$ и ее структурным показателем $P(\delta) = \frac{\bar{\sigma}_{сж}}{\bar{\sigma}_{max}}$ в координатах $\bar{\sigma}_{сж} - P(\delta)$ (рис. 2). В каждой группе находят $\bar{\sigma}_{сж}$, $\bar{\sigma}_{max}$ и $P(\delta)$.

Значение структурного показателя $P(\delta)$ может быть найдено с учетом распределения усредняемых величин в каждой группе испытываемых образцов горной породы по типам разрушения. При этом в группе для каждого типа находят среднее значение прочности образца $\bar{\sigma}_{сж}$ относительное значение прочности по отношению к прочности первого типа $\frac{\sigma_I}{\sigma_c}$ и частости появления результатов испытаний P_i.

Построив график в координатах $\bar{\sigma}_{сж}$ - $P(\delta)$, продолжив прямую до значения $P(\delta) = 1$, найдём предельную прочность.

Из изложенного следует, что прочность пароды в массиве может быть приближенно установлена расчетным методом по результатам испытаний образцов этой породы на одноосное сжатие с учетом коэффициента структурного ослабления $К_{стр}$. Этот коэффициент определяется как отношение прочности породы в массиве к средней прочности породы в образце или расчетным путем на основе информации о структурных элементах породы и данных испытания ее образцов на прочность [3,4].

ISSN 3030-3907

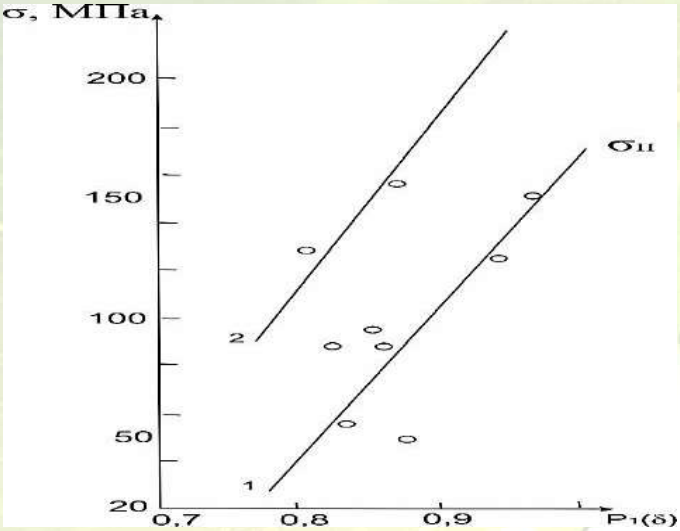


Рис. 2. Среднее значение прочности пород как функции структурного показателя

1-известняк, 2-скарновая руда

Рассмотренные методы расчета структурного ослабления в зависимости от условий и целей решаемых горно-технических задач имеют свои преимущества. В рамках решения задачи геометризации прочностных показателей методика определения $К_{стр}$ предложенная И.И. Протопоповым, дает удовлетворительные результаты, что подтверждается данными шахтных экспериментов.

Таким образом, получена цифровая модель $К_{стр}$ (x, y, z) для шахтных условий и стандарт его изменчивости $\sigma_{Кстр}$. План изолиний коэффициента структурного ослабления пород построен при сечении горизонталей h_k=1,5 $\sigma_{Кстр}$ (рис. 3).

ISSN 3030-3907

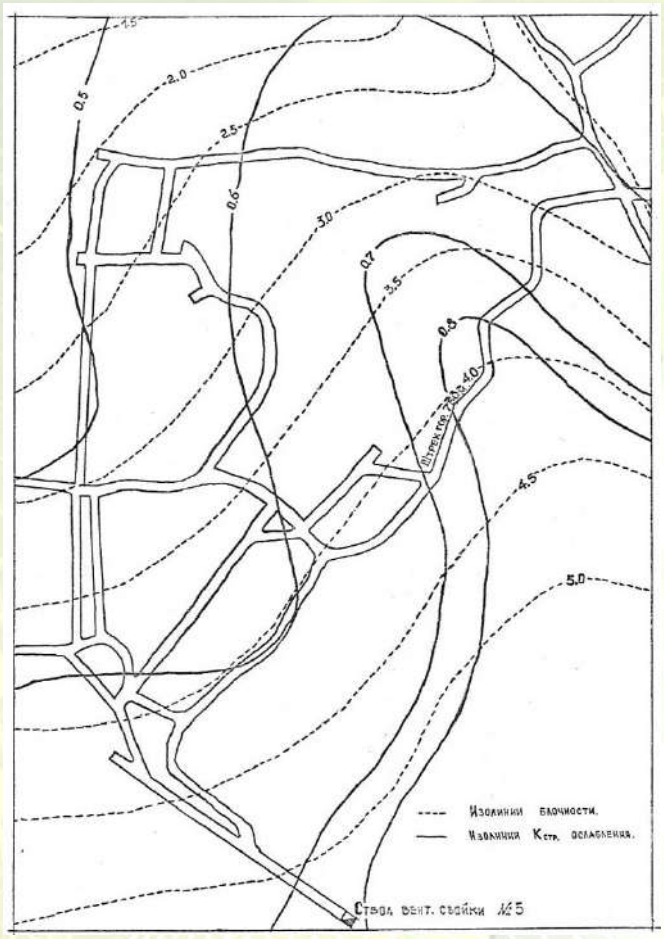


Рис. 3. План изолиний коэффициента структурного ослабления (сплошная линия) и интенсивности трещиноватости (пунктирная) на рудном месторождении

Достоверность плана проверена экспериментально путем определения прочности штуфов пород из различных участков шахтного поля. Ошибка интерполирования не превышает величину стандарта коэффициента структурного ослабления.

В результате геометризации прочностных характеристик выявлено пространственное размещение коэффициента структурного ослабления горных пород, позволяющий переходить от значений прочности в образце $\sigma_{обр}$ к прочности массива $\sigma_м$ в любой точке участка месторождения при прочих равных условиях.

Таким образом, структурная модель пород может бить построена по данным лабораторных испытаний в совокупности с анализом причин вариаций показателей, включающых в себя исследование минералогического состава и трещиноватости породы в куске и натуре.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ISSN 3030-3907

1. Прочность горных пород в массиве существенно зависит от их структурных особенностей и не может быть корректно оценена без учета трещиноватости и вторичных изменений.

2. Предложенная структурная модель массива горных пород позволяет выделить зоны с различной степенью структурного ослабления.

3. Коэффициент структурного ослабления является эффективным инструментом для перехода от прочности образца к прочности массива.

4. Методика может быть успешно применена при геометризации прочностных показателей пород и решении практических горно-технических задач.

Таким образом, разработанная структурная модель массива горных пород и предложенный метод учета структурного ослабления обеспечивают более достоверную оценку прочностных характеристик пород в натурных условиях. Использование данного подхода способствует повышению надежности проектных решений и безопасности ведения горных работ на рудных месторождениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саййидкосимов С. С., Казаков А. Н., Хакбердиев М. Р., Рахимова М. Х. Оценка геомеханических условий разработки золоторудного месторождения Чармитан // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 3. – С. 29–39. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_3_0_29.

2. Еременко А.А., Еременко В.А., Климко В.К., Штирц В.А., Филиппов В.Н., Громова И.Л., Пивень В.В. Создание автоматизированной системы непрерывного контроля напряженного состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений на Таштагольском и Шерегешевском месторождениях. // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005, № 8, С. 113-118.

3. Мухаметшин А.М., Камалдинова И.Р., Ведерников А.С., Панфилов С.С., Анисимов В.М., Яковлев М.В., Крупнов В.М., Сафьянов В.И. Геоинформационная система для регистрации и оценки сейсмического влияния промышленных взрывов на объекты окружающей горнодобывающее предприятие инфраструктуры. // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005, С. 86-1193

4. Рассказов И.Ю., Искра А.Ю., Луговой В.А., Барашиков И.А. Автоматизированная система геомеханического мониторинга подземных сооружений и горных конструкций при их эксплуатации. // Технологии гражданской безопасности, том 7, 2010, № 3 (25). – С. 92-96.

ISSN 3030-3907

5. Mukhitdinov, S., Kazakov, A., Khakberdiev, M. Assessment of category of the rock burst hazard for the Charmitan gold deposit // E3S Web of Conferences 129,01007. 2019.
6. Markov, A., Kazakov, A., Haqberdiyev, M., Muhitdinov, S., Rahimova, M. Calculation of tectonic stresses in the earth's crust of SouthWestern Uzbekistan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 937(4),042087. 2021.
7. Kazakov, A., Khasanov, I., Maxmadiyev, D., Xakberdiyev, M., Akbarkhonov, S. Formation of land use system in Uzbekistan: Past and today // E3S Web of Conferences 443,06012. 2023.
8. Kazakov, A., Bobarakhimov, B., Haqberdiyev, M., Muhitdinov, S., Qurbonov, H. Rating assessment of rocks and ores in the conditions of the Kyzyl-alma deposit of Angren mine department // E3S Web of Conferences 462,03028. 2023.

ISSN 3030-3907